

А.В. ФЕСЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

Ю.Н. ЛЮБИМЫЙ, асп., НТУ «ХПИ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИ АКТИВАЦИИ И РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЖ

Анотация. Розглянуто питання, пов'язані з підвищенням ефективності процесу круглого зовнішнього переривчастого шліфування. На основі аналізу процесів в зоні різання та існуючих способів приготування, відновлення, активації, підведення мастильно-охолодної рідини запропоновано ряд конструктивних і технологічних схем кавітаційної обробки МОР в круглошліфувальному верстаті. Розроблено модуль збірного шліфувального круга з введенням МОР по радіальним каналам з кавітаторами.

Abstract. Questions, related to the increase of efficiency of process of the round external irregular polishing, are considered. On the basis of analysis of processes in the zone of cutting and existent methods of preparation, renewal, activating, tricking into of liquids, the row of structural and technological charts of cavitation treatment liquids on a circular grinding machine is offered. The module of collapsible grinding wheel with liquids introduction from the radial ductings with kavitators is developed.

Введение. Качество поверхностного слоя деталей машин, определяющие их эксплуатационные характеристики в большинстве случаев формируются при шлифовании. Этот процесс характеризуется высокой тепловой напряженностью и большой вероятностью появления в поверхностных слоях шлифованных деталей дефектов в виде прожогов и микротрещин, снижающих их эксплуатационные свойства. Одним из путей снижения тепловой напряженности процесса шлифования и улучшения качества шлифованных деталей является применение эффективных составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), их активизация и использование рациональных способов подачи в зону резания.

В процессе резания охлаждающая жидкость производит смазочное, охлаждающее, моющее, диспергирующее и демпфирующее действия. Диспергирующее действие проявляется в том, что под действием высоких температур и давлений, развиваемых в зоне резания, компоненты охлаждающей жидкости разрушаются с образованием атомов и химических радикалов, которые вступают в реакцию с контактными площадками абразивного зерна (АЗ) и стружки. При этом образуются твердые смазочные пленки. В результате смазывания уменьшаются силы трения, снижается тепловыделение и повышается стойкость режущего инструмента. Охлаждающее действие СОЖ заключается в отводе теплоты от нагретых контактных площадок режущего инструмента и стружки. Моющее действие выражено в вымывании из зоны резания твердых частиц карбидов, мелкой стружки и неметаллических включений. Демпфирующее действие приводит к уменьшению амплитуд колебаний сил резания и обрабатываемой заготовки. [1].

1. Работа шлифовального круга. Одним из важных требований к СОЖ является обеспечение увеличения стойкости режущего инструмента и повышение качества обрабатываемой поверхности при соблюдении заданной точности обработанной поверхности.

В процессах абразивной обработки зерна циклически испытывают силовое, тепловое и химическое воздействия, в результате которых они подвергаются следующим видам изнашивания и затупления: истиранию с элементами микроскалывания, адгезионных и диффузионных взаимодействий с металлом заготовки и внешней средой с образованием площадок износа на вершинах; микроскалыванию вершин режущих кромок с образованием новых острых кромок, что характерно для наиболее хрупких абразивных материалов и вырыванию из связки.

При абразивной обработке в той или иной мере всегда присутствуют все перечисленные виды изнашивания зерен. Преобладание какого-либо одного вида изнашивания зависит от физико-химических свойств зерен, прочности их удержания связкой инструмента, силовых и тепловых нагрузок, действующих на зерна, состава СОЖ и его расхода, а также от других факторов, определяющих характер контактного взаимодействия при обработке. Вид преобладающего изнашивания определяет режим работы абразивного инструмента [1].

Режим равномерного самозатачивания характеризуется микровыкрашиванием и разрушением абразивных зерен, вырыванием их из связки, которому предшествует затупление вершин с образованием площадок износа до тех пор, пока увеличивающаяся по мере изнашивания сила микрорезания не разрушит зерно или удерживающую его связку.

Режим работы абразивного инструмента с преимущественным затуплением характеризуется образованием площадок износа на вершинах зерен и налипанием на них металла (засаливание инструмента), микроскалыванием и незначительным разрушением зерен. При этом размерный износ круга невелик, что является необходимым условием большинства операций точного шлифования, хонингования и суперфиниширования и в значительной степени определяется составом СОЖ, находящегося в зоне контакта зерна с заготовкой. Причем количество проникшего в эту зону СОЖ зависит в основном от двух факторов: скорости потока и вида контакта абразивного инструмента с заготовкой (линейного, поверхностного, точечного). Установлено, что если при давлении до 0,1 МПа жидкости, транспортируемой в зону обработки, электрокорунд проявляет способность к микроскопически заметной пластической деформации лишь при температуре около 1250 К, то при давлении 0,25 МПа он "течет" уже при нормальной температуре.

Следует также учитывать, что с повышением температуры до 1073..1273 К (средней контактной температуры шлифования стальных заготовок кругами на керамических связках) теплопроводность алмаза,

электрокорундов и большинства других твердых тел резко снижается. Недостаточный расход СОЖ через зону обработки и неправильно выбранный ее состав могут быть причиной уменьшения твердости абразивного зерна, что коренным образом изменит характер его износа [1].

2. Применение кавитационных технологий для интенсификации шлифования. В настоящее время одним из перспективных методов интенсификации химико-технологических процессов и повышения эффективности технологического оборудования признаются методы, основанные на энергетических воздействиях с применением различных физико-химических эффектов, в частности, использующих эффект кавитации в жидких средах.

Одним их эффективных методов интенсификации химико-технологических процессов в жидкостях является кавитационное воздействие на обрабатываемую среду [2]. Кавитация представляет собой средство локальной концентрации энергии низкой плотности в высокую плотность энергии, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. В фазе разрежения акустической волны или за счет местного понижения давления при обтекании твердого тела в жидкости образуются каверны (кавитационные пузырьки), которые заполняются насыщенным паром данной жидкости. В фазе сжатия под действием повышенного давления и сил поверхностного натяжения каверна захлопывается, а пар конденсируется на границе раздела фаз. Через стены каверны в нее диффундирует растворенный в жидкости газ, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию. В момент схлопывания кавитационной каверны давление и температура газа локально могут достичь значительных величин (по расчетным данным до 100 МПа и до 10000 К соответственно) [2]. После схлопывания каверны в окружающей жидкости распространяется сферическая ударная волна, быстро затухающая в пространстве. При генерировании импульсных растягивающих напряжений в жидкости, присутствующие в ней зародыши кавитации (устойчивые паровые и газовые пузырьки малых размеров) начинают расти, образуя кавитационный кластер, форма и размеры которого определяются начальным спектром размеров кавитационных зародышей, характером прикладываемого напряжения и граничными условиями.

В кавитационную каверну могут проникать пары жидкости, растворенные газы, а также вещества с высокой упругостью пара и не могут проникать ионы или молекулы нелетучих растворенных веществ. Выделяющейся в процессе схлопывания каверны энергии достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри кавитационной каверны. Эрозия твердого тела (разрушение поверхности), очистка поверхностей, диспергирование твердых частиц, растворение, экстрагирование, эмульгирование, гомогенизация, пенообразование осуществляются, в основном, за счет двух

характерных проявлений кавитации: ударных волн и кумулятивных струек, образующихся при схлопывании кавитационных пузырьков. Кумулятивные струйки разрушают поверхностные слои и поверхность твердого тела за счет кинетической энергии жидкости. Мелкие частицы твердого тела, размеры которых соизмеримы с поперечным сечением кумулятивных струй, увлекаются ими и дают дополнительный вклад в процесс разрушения поверхностных слоев и самих твердых частиц, находящихся в жидкости. В промышленности для кавитационного воздействия на жидкость используются гидродинамические, электродинамические, пьезоэлектрические, магнитострикционные и механические генераторы кавитации. В ультразвуковом диапазоне наиболее распространены пьезоэлектрические и магнитострикционные генераторы кавитации. В этих электроакустических преобразователях используется прямой магнитострикционный и пьезоэлектрический эффект в переменных магнитных и электрических полях. Диапазон частот возбуждения преобразователей является очень широким (от 8 до 44 кГц и выше). Ультразвуковые колебания от преобразователя передаются к обрабатываемым веществам через специальные трансформирующие и согласующие устройства (концентраторы, пластины и др.), заканчивающиеся излучающей поверхностью [3]. В гидродинамических кавитаторах типа роторных импульсных аппаратов, в основном, реализуется гидродинамическое и акустическое воздействие в жидкости за счет развитой турбулентности, пульсаций давления и скорости потока жидкости, интенсивной кавитации, ударных волн и вторичных нелинейных акустических эффектов. При вращении ротора, его каналы периодически совмещаются с каналами статора. В резонансных гидродинамических генераторах используется возбуждение колебаний резонирующих элементов в виде пластин, стержней или мембран набегающей струей жидкости. Колебания резонирующих элементов создают акустическое поле излучателя. Наиболее распространенной модификацией таких излучателей являются пластинчатые излучатели с консольным или двухточечным креплением вибрирующей пластины. Струя, вытекающая с большой скоростью из конусно-цилиндрического или щелевого сопла, попадает на пластину с клиновидным краем. При этом происходит срыв струи, и возникают вихревые пульсации и кавитация.

Множество динамически развивающихся пузырьков можно рассматривать как своего рода микротрансформаторы, преобразующие аккумулированную в системе потенциальную энергию в кинетическую энергию жидкости, распределенную дискретно в пространстве и во времени [4].

В общем виде спектр влияния кавитации на обработку заготовок шлифованием можно представить схемой, показанной на рисунке 19.

За счет кавитации снижается трение в зоне резания. Уменьшение трения приводит к снижению силы резания, температуры в зоне резания, что в свою

очередь уменьшает упругие отжатия заготовки, степень уплотнения стружки, увеличивает плотность и размеры сети капилляров. Кавитация способствует пластической деформации, что уменьшает образование заусенцев и, как следствие, силы резания.

Кавитационная обработка жидкости – высокоэнергетическая обработка, способствующая снижению наростообразования на периферии режущего инструмента, разрыву высокомолекулярных соединений, уменьшение размеров которых облегчает их попадание в субмикрокапилляры.

За счет микровзрывов парогазовых каверн, интенсификации испарения и конденсации, увеличения количества и размеров капилляр в заготовке улучшаются условия попадания СОЖ в микрокапилляры. Увеличение площади контакта заготовки приводит к повышению смачивающей способности, которая способствует повышению всех функциональных действий СОЖ.

В целом кавитационная обработка приводит к повышению точности, качества при неизменной производительности обработки.

В настоящее время кавитационная обработка СОЖ находит применение при приготовлении и восстановлении эмульсий [5], при воздействии на процессы резания, правки и очистки шлифовальных кругов. В работе Е.С. Киселева [6] подробно рассматриваются вопросы использования энергии ультразвукового поля при механической обработке. При этом указывается на следующие эффекты: кавитацию; звукокапиллярный эффект, при котором обеспечивается глубокое проникновение жидкости в капилляры и узкие щели под действием ультразвуковых колебаний; эффект снижения трения и увеличения пластичности смещений относительно граничной поверхности; ультразвуковое распыление жидкости в колеблющемся слое жидкости или в ультразвуковом фонтане на высоких частотах.

Перспективным является получение данных эффектов при использовании гидродинамических способов воздействия на СОЖ за счет преобразования энергии потока жидкости в кавитационное воздействие на среду с целью интенсификации процессов при шлифовании.

3. Прерывистое шлифование. Известно, что процесс прерывистого шлифования в сравнении со сплошным обеспечивает снижение максимальной температуры примерно на 30-40%, что подтверждается теоретическими расчетами, выполненными в работах [7, 8, 9].

Анализ этих исследований при прерывистом шлифовании показал, что в фазу отсутствия контакта круга с обрабатываемой поверхностью охлаждение ее в основном обеспечивается теплопроводностью этой поверхности. При этом высокая интенсивность оттока тепла от поверхности в тело детали обусловлена большим градиентом температуры после контакта с кругом в направлении нормальном к обрабатываемой поверхности. Дополнительный отток тепла от нагретой поверхности обеспечивается за счет конвективного

теплообмена с окружающей средой (воздухом или смазочно-охлаждающей жидкостью).

Однако охлаждающее действие СОЖ оказывает недостаточное влияние на отбор тепла в фазу отсутствия контакта круга с деталью. Это объясняется не только меньшей интенсивностью теплопередачи конвективным теплообменом по сравнению с теплопроводностью, но и тем, что попадание СОЖ в пространство между выступами прерывистой поверхности круга затруднено. Поток СОЖ в пространство между выступами круга препятствует поток воздуха, увлекаемого кругом, который вращается с большой скоростью. Для обеспечения интенсивной подачи СОЖ в пространство между режущими выступами круга делаются попытки подвода СОЖ через круг. Это достигается, например, подачей СОЖ через корпус сборных абразивных сегментов круга в промежутки между выступами. Кроме этого, повышение эффективности возможно при подаче СОЖ непосредственно в зону контакта выступа круга с деталью через поры круга.

Была получена формула для определения температуры в зоне резания при круглом наружном прерывистом шлифовании с учетом подвода СОЖ при ее активном попадании или отсутствии между абразивными брусками.

На рисунке 1 показаны графики сравнения процесса шлифования без применения охлаждения, а также с охлаждением сухим воздухом и напорной струей жидкости на водной основе.

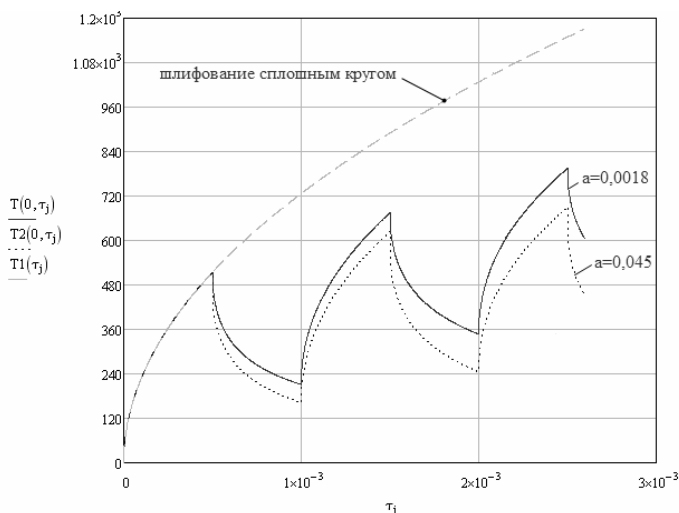


Рис. 1 – Сравнение температуры нагрева поверхности заготовки

Результаты проведения компьютерного эксперимента с применением полученных формул показали, что в обычных условиях охлаждающее действие СОЖ позволяет незначительно (примерно до 10%) уменьшить

максимальную температуру при прерывистом круглом наружном шлифовании. Интенсифицируя подачу СОЖ через круг или корпус сборного круга, можно прогнозировать возможность уменьшения максимальной температуры шлифуемой поверхности как за счет охлаждающего действия СОЖ, так и за счет ее комплексного физико-химического воздействия [10].

4. Нанотехнологии в приготовлении СОЖ. Использование нанотехнологий позволит качественно поменять физико-химическое состояние СОЖ и эффективность ее воздействия на процессы резания. Например, наночастицы дисульфида MoS_2 хорошо известны исключительно в трибологических процессах. Такие добавки предназначены для минимизации расхода СОЖ при шлифовании чугуна. Результаты показали, что жидкости с применением новых MoS_2 -наночастиц значительно понижают тангенциальную силу шлифования и трение между поверхностями круга и заготовки, возрастает коэффициент шлифования и во всех случаях повышается эффективность процесса шлифования при минимальном расходе СОЖ [11]. На рисунке 2 показана гистограмма сравнения нескольких видов СОЖ с различной концентрацией наночастиц MoS_2 по показателю – коэффициент шлифования.

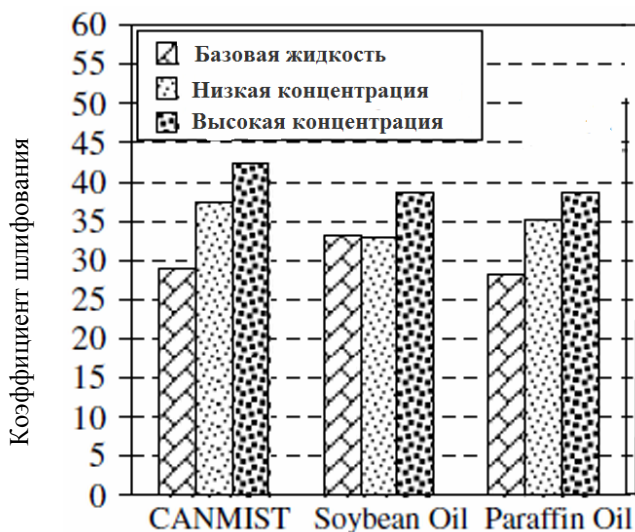


Рис. 2 – Влияние наночастиц MoS_2 на коэффициент шлифования

Использование наночастиц при подготовке СОЖ должно способствовать увеличению коэффициента шлифования. А применение при этом кавитационной обработки повысит эффективность шлифования. Поэтому данное направление является перспективным, но необходимы теоретические обоснования и экспериментальная проверка.

5. Технологическая система использования СОЖ при шлифовании.

Использование кавитации для активации СОЖ при шлифовании позволит наряду с улучшением физико-химического состояния эмульсии, повысить эффективность процесса резания и стойкость инструмента.

На рисунке 3 показана структура технологической системы использования СОЖ в шлифовальном станке. Исходными параметрами являются конструктивные особенности используемых систем и физико-химическое состояние выбранной СОЖ.

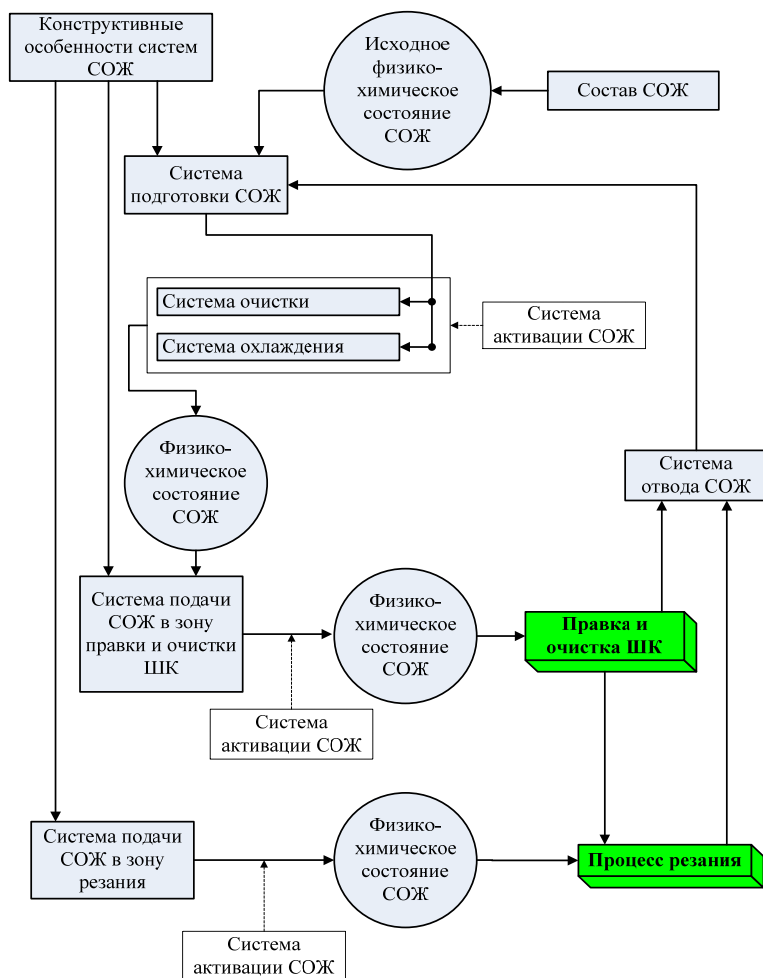


Рис. 3 – Структура технологической системы использования СОЖ при шлифовании

Индивидуальная система подготовки СОЖ включает в себя элементы очистки, охлаждения и устройства, обеспечивающие подачу эмульсии в зону резания, правки и очистки шлифовального круга. С целью обеспечения мелкодисперсной и гомогенной СОЖ в системе подготовки могут быть установлены элементы кавитационной обработки: пассивные или активные. Пассивные устанавливаются после насоса и могут включать в себя устройства перемешивания и кавитационные насадки. Активные могут быть в виде гидродинамического активатора, выполняющего роль и насоса и кавитатора одновременно. Такая подготовка СОЖ перед использованием в дальнейших процессах обеспечивает потенциальные возможности повышения эффективности обработки и увеличения бактериологической стойкости СОЖ.

Выполним анализ элементов системы с целью обеспечения рационального построения и эффективного воздействия на процессы резания, правки и очистки шлифовального круга.

6. Особенности подачи СОЖ в зону резания. Многолетние исследования огромного числа ученых, так же как и практика использования СОЖ при шлифовании убедительно доказывают, что действие СОЖ в наибольшей степени проявляется только при условии ее проникновения непосредственно в зону взаимодействия вновь образующихся на заготовке, круге и стружке поверхностей. Использование избыточного количества СОЖ не приводит к дополнительным положительным результатам, а лишь повышает производственные расходы. Поэтому несомненный научный и практический интерес представляют исследования, направленные на определение условий своевременного и надежного транспортирования СОЖ к образующимся при шлифовании ювенильным поверхностям при использовании минимально необходимых расходов СОЖ.

Анализ механизмов смазывающего, смачивающего и проникающего, охлаждающего, моющего, режущего и пластифицирующего действия СОЖ позволяет сделать вывод о том, что для повышения эффективности действия СОЖ необходимо повышать ее давление и скорость течения в зонах контакта абразивных зерен и металла заготовки [12]. Отмечается, что при шлифовании без СОЖ взаимодействие абразивного инструмента и заготовки происходит в более экстремальных условиях, чем при шлифовании с СОЖ. В отсутствие защитных пленок и ряда эффектов, обеспечиваемых при использовании СОЖ, значительно интенсифицируются контактные физико-химические явления. Под воздействием высоких температур и давлений в зоне резания происходит адгезионное схватывание абразива с обрабатываемым материалом, взаимная диффузия химических элементов, увеличение работы трения связи и абразивных зерен с обрабатываемой заготовкой и, как следствие, разупрочнение и разрушение абразивных зерен, а также формирование поверхностного слоя детали с неблагоприятными эксплуатационными характеристиками.

Наиболее распространенным способом подачи СОЖ является полив свободной струей. Но этот способ подачи жидкости в зону резания обладает рядом недостатков: большой расход жидкости (10-16 л/ч), разбрызгивание, слабое смазочное действие.

Некоторые исследователи считают наиболее эффективный способ охлаждения – охлаждение распыленной эмульсией, которая подается в зону резания со стороны задней поверхности инструмента, причем при выходе из сопла воздушно-жидкостная смесь расширяется, вследствие чего происходит некоторое понижение ее температуры. Когда частицы жидкости попадают на нагретые поверхности заготовки и инструмента, они мгновенно испаряются и отводят большое количество теплоты. Достоинством этого способа охлаждения является то, что при небольшом расходе жидкости эффективно используются ее смазочные и охлаждающие свойства, а также происходит увеличение стойкости инструмента.

Экспериментально установлено, что шлифовальный круг на керамической связке обладает хорошей вентилирующей способностью [12]. Из-за значительной шероховатости его поверхностей создаются вихревые воздушные потоки, препятствующие проникновению СОЖ в зону шлифования. Возможности подвода СОЖ в зону резания в основном определяется смачиваемостью поверхности детали жидкостью, ее затягиванием вследствие капиллярного эффекта и микровибраций высокой частоты, а также благодаря некоторым гидродинамическим явлениям, аналогичным явлениям в гидравлическом клине.

При подаче СОЖ гидроаэродинамическим способом энергия воздушных потоков, создаваемых вращающимся кругом, используется для повышения скорости движения жидкостного потока относительно рабочей поверхности круга и шлифуемой заготовки. С помощью специальных устройств активированный поток СОЖ направляется на рабочую поверхность круга в область его контактирования с заготовкой. Известно достаточно много разновидностей гидроаэродинамического способа подвода СОЖ и множество конструкций кожухов, торцевых насадков и т.п., позволяющих разгонять СОЖ за счет вращения инструмента и одновременно перемещать ее к зоне обработки. Важнейшей положительной особенностью данных способов является то, что повышение скорости движения СОЖ относительно заготовки, обеспечивается за счет использования самого вращающегося абразивного круга. Общим недостатком известных конструкций является то, что, несмотря на разгон СОЖ практически до скоростей резания, они не обеспечивают гарантированной транспортировки СОЖ ювенильным поверхностям заготовки.

При подаче СОЖ напорной струей давление жидкости в соплах насадок повышают до 1,0-1,5 МПа, а при скоростном и силовом шлифовании до 130-150 МПа и более. Однако указанные значения давления являются давлением жидкости в соплах, а не в зоне взаимодействия круга и заготовки, что совсем не одно и то же. Использование повышенного давления СОЖ в соплах

позволяет повысить скорость движения потока СОЖ относительно заготовки, что интенсифицирует отвод тепла от шлифуемой заготовки и облегчает преодоление воздушных потоков, генерируемых вращающимся инструментом, но не гарантирует надежного попадания СОЖ в зону резания.

Подача СОЖ может выполняться по радиальным каналам в абразивном материале или в корпусе сборного шлифовального круга (см. рис. 4).

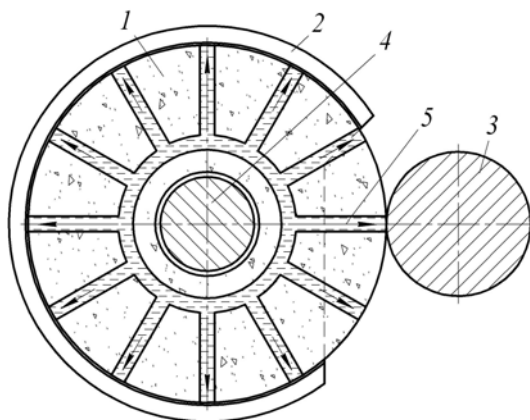


Рис. 4 – Подача СОЖ через каналы в абразивном материале

1 – абразивный круг; 2 – защитный кожух; 3 – заготовка;

4 – шпиндель; 5 – каналы для подвода СОЖ

В этом случае эмульсия попадает на деталь перед началом резания абразивными зернами. Подачу СОЖ через каналы в шлифовальном круге применяют пока очень редко, так как промышленность не выпускает круги с радиальными или наклонными каналами. Однако способ подачи СОЖ через каналы в шлифовальном круге оказывается весьма перспективным: СОЖ подается непосредственно в зону контакта шлифовального круга с деталью, в результате чего эффективно осуществляется смазочное и охлаждающее действие СОЖ, а расход СОЖ во много раз меньше, чем при подаче СОЖ свободно падающей струей, что, в свою очередь, позволяет уменьшить мощность насосной станции системы охлаждения станка. СОЖ, поступаая через каналы на рабочую поверхность круга, равномерно смачивает ее, способствуя созданию на абразивных зернах прочных защитных пленок и осуществляя моющее действие, хотя и в меньшей степени, чем при подаче СОЖ через поры круга.

Если охлаждающее действие СОЖ, подаваемой через каналы круга, окажется недостаточным, то можно применить комбинированный способ: через каналы круга подавать СОЖ, обладающую высокими смазочными

свойствами, а снаружи – свободно падающей струей подавать другую СОЖ, имеющую высокие охлаждающие свойства. Однако для определения работоспособности новых шлифовальных кругов необходимы дальнейшие исследования.

Значительным преимуществом подвода СОЖ через поры круга является то, что при использовании небольшого количества СОЖ последняя в виде химически и физически связанной жидкости достигает зоны непосредственного контакта абразивных зерен и шлифуемого материала. Проникающая способность СОЖ значительно усиливается за счет ее распыления при выбросе из круга и благодаря значительной интенсификации фильтрационных процессов под воздействием ультразвукового капиллярного эффекта.

Различными авторами отмечается, что использование метода подвода СОЖ через поры круга обеспечивает снижение контактной температуры в 2 раза и повышение производительности обработки в 1,3 – 1,8 раза при использовании бесприжоговых режимов обработки [12].

Несмотря на большое разнообразие конструкций и способов подвода СОЖ через поры в инструменте, существует ряд недостатков, препятствующих широкому распространению метода. Отсутствие готовых сборных кругов и систем подачи СОЖ, а также необходимость модернизации шлифовального оборудования не позволяют широко использовать этот метод на производстве. В связи с вытеканием жидкости на торцевую поверхность в центральном сечении круга выделяется больше жидкости, чем у кромок круга. Вследствие этого на участки, на которых происходит наиболее интенсивный сьем металла, поступает меньшее количество охлаждающей жидкости. При большом диаметре абразивной части, возникает необходимость изолировать торцы для предотвращения непродуктивных потоков СОЖ. Необходима тщательная очистка СОЖ, т.к. при засорении пор эффективность охлаждения снижается и возможно возникновение дисбалансов абразивного инструмента.

Дальнейшие работы по использованию методов подачи СОЖ через поры должны быть направлены на решение перечисленных выше проблем.

7. Система подвода СОЖ в зону резания. В работах Е.С. Киселева [6, 13] для интенсификации процессов, происходящих в зоне резания, используется наложение ультразвуковых колебаний при подаче СОЖ через насадки, установленные на торцах шлифовального круга. Это существенно изменяет механизм проникновения СОЖ в зоны шлифования и правки: жидкость выбрасывается из пор круга непосредственно в зону его контакта с заготовкой. При этом отмечается, что функциональные действия СОЖ, как правило, усиливаются и оказывают существенное влияние на производительность и качество поверхностного слоя обработанных деталей. Обращается внимание на то, что кавитация СОЖ в зоне резания способна коренным образом изменить условия формообразования новых поверхностей. Наложение колебаний способствует ускорению движения

СОЖ сквозь сеть капиллярных каналов к зонам контактного взаимодействия инструмента с материалом заготовки. Акустическое распыление СОЖ с помощью энергии ультразвукового поля позволяет создать воздушно-жидкостные аэрозоли, размеры капель жидкости в которых соизмеримы с размерами поперечных сечений образующихся при резании капилляров.

В предлагаемой нами системе подачи СОЖ в зону резания (см. рис. 5) используется подвод ее по радиальным каналам кассеты сборного шлифовального круга. На выходе канала установлены насадки, обеспечивающие активацию СОЖ за счет гидродинамической кавитации. В дальнейшем активированная СОЖ через поры шлифовального круга поступает на его периферию.

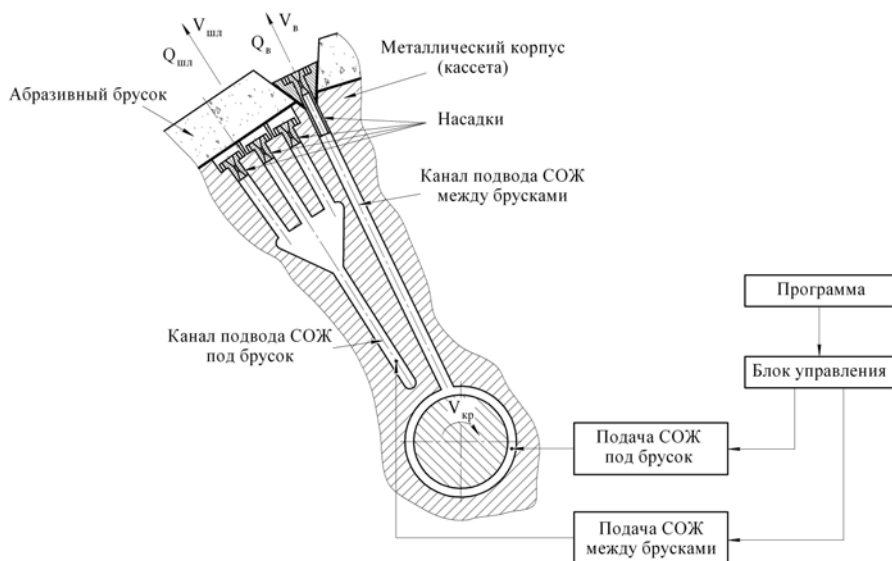


Рис. 5 – Подвод СОЖ по каналам шлифовального круга

Для определения энергетических и гидродинамических параметров потоков СОЖ, обеспечивающих возникновение кавитации, следует провести соответствующие исследования.

Увеличение скорости движения СОЖ через поровое пространство круга и соответствующее увеличение ее расхода через зону обработки является результатом действия ударных волн от захлопывающихся кавитационных полостей, локализованных в сечении поровых каналов. Оптимизация конструктивных параметров насадок, гидродинамических параметров потока, спектра частот колебаний и диапазона амплитуд звукового давления должны обеспечить эффективную кавитацию жидкости.

Для выбора параметров кавитационных насадок и определения условий возникновения кавитации были проведены экспериментальные исследования на проточном стенде. Схема данного экспериментального стенда показана на рисунке 6.

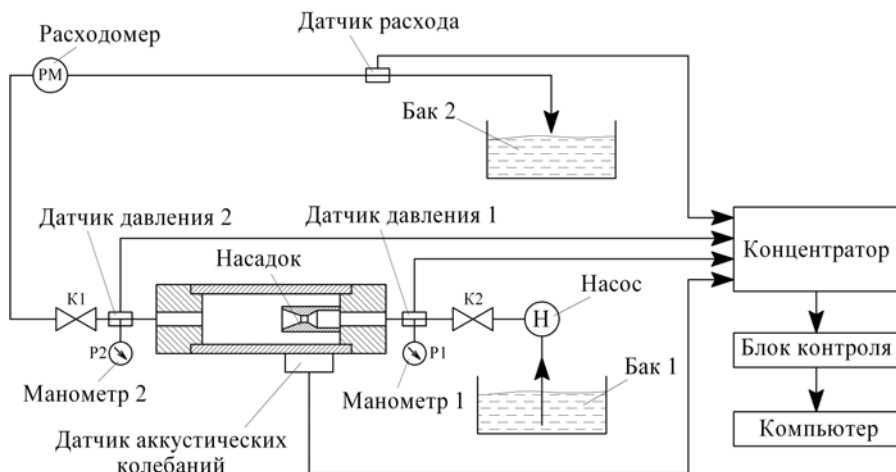


Рис. 6 – Схема экспериментального стенда

Рабочая жидкость из бака 1 подается насосом на испытываемый кавитатор, который изготовлен из прозрачного материала и установленный в стеклянной трубе, и далее к баку 2. Регулировка параметров потока выполнялась кранами K1 и K2. Из бака 2 брались пробы для анализа физико-химического состояния эмульсии после обработки. За протеканием процесса на выходе кавитатора в стеклянной трубе велись визуальные наблюдения с фиксацией в журнале.

При проведении экспериментов использовалась автоматизированная система контроля. От датчиков давления, расхода и акустических колебаний сигналы поступали в концентратор и через блок контроля в компьютер. Обработка информации выполнялась по специальным программам с выводом таблиц и графиков.

В качестве контрольных приборов для определения текущих значений давления на входе и выходе использовались манометры (P1 и P2), а расход определялся по счетчику (РМ).

На рисунке 7 показан измерительный блок с кавитатором и датчиком давления. После прохождения кавитационной обработки жидкость поступает на слив обратно в бак. По результатам проведенных испытаний определялись параметры кавитаторов и режимы работы, обеспечивающие интенсивную кавитацию в потоке.



Рис. 7 – Измерительный блок

При подаче СОЖ сквозь поры вращающегося шлифовального круга она может перемещаться по поровым каналам под действием гравитационных и капиллярных сил. При определенном значении центробежной силы часть физически связанной СОЖ под действием вибраций также может перемещаться по поровым каналам, однако ее большая часть, а также вся химически связанная СОЖ в виде адсорбционных пленок, проникает в точки непосредственного контакта АЗ с заготовкой и правящим инструментом [6]. Проводимость круга по отношению к СОЖ характеризуется его проницаемостью. По мере фильтрации даже чистой СОЖ гидравлическое сопротивление круга непрерывно возрастает. После прекращения подачи СОЖ и возобновления ее через некоторое время сопротивление оказывалось близким к исходному. Это явление, называемое фильтрационным эффектом, обусловлено образованием в поровых каналах абразивных кругов паровоздушных пузырьков, которые или выносятся СОЖ из поровых каналов, или закупоривают их, увеличивая гидравлическое сопротивление круга [6].

Для исключения фильтрационного эффекта необходимо либо увеличить давление подаваемой СОЖ, либо подавать ее с наложением УЗК. Последнее вызывает в поровом пространстве круга кавитацию и способствует, с одной стороны, интенсивному захлопыванию паровоздушных пузырьков, с другой стороны – интенсификации капиллярного подъема СОЖ по микроканалам порового пространства и уносу паровоздушных пузырьков при одновременном увеличении расхода жидкости из-за уменьшения гидравлического сопротивления в порах круга.

Известно, что фильтрации СОЖ сквозь поровое пространство абразивного круга препятствует образование паровоздушных пузырьков в его порах. Предотвратить этот процесс можно путем увеличения жидкостного давления [14] или возбуждением кавитации. Однако увеличение жидкостного

давления, в свою очередь, препятствует образованию кавитации. При одновременном увеличении жидкостного давления и возбуждении кавитации в СОЖ эффект от наложения ультразвуковых колебаний на фильтрующуюся жидкость проявляется лишь в области относительно невысокого давления подаваемой СОЖ (избыточное давление до 0,3 МПа). Использование высоконапорных систем подачи СОЖ на практике связано с необходимостью резкого увеличения производственных площадей и энергозатрат. Использование кавитации в низконапорных системах подачи СОЖ, также обеспечивающее повышение эффективности процессов шлифования и правки, свободно от указанных недостатков.

8. Система правки шлифовального круга. Известно также, что состояние рабочей поверхности шлифовального круга, сформированное при его правке, оказывает доминирующее влияние на процесс шлифования. От качества правки зависят теплообразование в зоне шлифования, период стойкости круга и производительность обработки, параметры качества шлифованных деталей.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокую производительность шлифования и заданные характеристики качества шлифованных деталей, является рациональное применение СОЖ, которые коренным образом изменяют характер протекания контактных взаимодействий при шлифовании, оказывают позитивное влияние на работоспособность шлифовальных кругов и правящих инструментов.

Для восстановления геометрии рабочей поверхности шлифовального круга, увеличения стойкости, уменьшения его засаливания в настоящее время используются различные методы и способы правки и очистки. Способы правки зависят от конструкции станка и требований к рабочей поверхности ШК. Системы, обеспечивающие подвод СОЖ при правке, определяются способом правки. От условий правки зависят расход круга и правящего инструмента и состояние их рабочих поверхностей, а следовательно, период стойкости круга, производительность и себестоимость обработки, качество шлифованных деталей.

Расход шлифовальных кругов на правку составляет 90 – 95 % от общего их расхода, а затраты на правку достигают 70 % от себестоимости операций [15].

Известны два основных способа правки, различающихся совокупностью формообразующих движений правящего инструмента и шлифовального круга: точением и шлифованием. К первому относят правку алмазом в оправе, алмазной иглой, алмазным карандашом, алмазной пластиной, ко второму – правку алмазным кругом или роликом.

При правке способом точения происходит сверхскоростное точение хрупкого абразивного материала шлифовального круга алмазным резцом (правящим инструментом). Возникающие в процессе правки радиальные силы, вследствие незначительной площади контакта алмаза с кругом по

величине невелики, порядка 20 – 100 Н [16] и не могут вызывать заметных упругих деформаций, влияющих на точность формы круга. Поэтому способ точения обеспечивает удовлетворительную точность правки при небольшой глубине разрушения поверхностного слоя и благодаря простоте реализации.

Учитывая, что коэффициент трения АЗ шлифовального круга и алмазов правящего инструмента, а также угол деформации и скола АЗ в существенной степени определяются смазочными свойствами среды, находящейся в контактной зоне (воздух, аэрозоль, СОЖ), можно утверждать, что критическая глубина правки является величиной переменной. Изменяя условия реализации потенциальных свойств СОЖ и ее химический состав можно оказывать влияние на состояние рабочей поверхности шлифовального круга.

Результаты правки можно охарактеризовать макро- и микроэффектами. Макроэффект обусловлен формой правящего инструмента и условиями правки: во время правки АЗ срезаются и разрушаются режущей частью правящего инструмента, описывающей определенную траекторию относительно АЗ, находящихся на рабочей поверхности круга. Микроэффект проявляется в откалывании от АЗ отдельных частиц с образованием новых режущих кромок. Острота кромок зависит от хрупкости абразива и условий правки. В случае тонкой правки от АЗ откалываются очень мелкие частицы, в результате чего на зернах образуется развитый микро- и субмикрорельеф. При грубой правке от АЗ откалываются большие частицы или зерна выламываются из связи полностью, обнажая новые зерна с новыми острыми режущими кромками, образуя при этом развитый режущий макрорельеф круга.

Сочетание макро- и микроэффектов в общем случае создает на рабочей поверхности круга высокую плотность распределения малых режущих кромок при тонкой правке и низкую плотность распределения режущих кромок при грубой правке. При этом на результирующее состояние рабочей поверхности круга основное влияние оказывают геометрия инструмента, производящего правку, элементы режима и кинематика правки.

Влияние СОЖ на процесс правки проявляется в уменьшении контактной температуры в зоне правки, а следовательно, уменьшается линейное расширение алмаза, относительная стабилизация его теплопроводности и твердости, что в свою очередь уменьшает вероятность возникновения растягивающих напряжений в алмазе, его графитизации и абразивного износа. Использование СОЖ приводит к изменению коэффициента трения контактирующих зерен круга и правящего инструмента. При этом возможно изменение критической глубины правки, определяющей характер процесса обновления рабочей поверхности шлифовального круга.

На основе вышеизложенного можно наметить следующие пути интенсификации охлаждения зоны правки: использование в качестве СОЖ жидкости, обладающей высокой теплопроводностью, теплоемкостью, плотностью и наименьшей кинематической вязкостью, хорошими

смазочными свойствами; создание условия перехода СОЖ в смежное агрегатное состояние; увеличение скорости относительного перемещения объектов; целенаправленное изменение теплофизических характеристик контактирующих объектов.

Следовательно, активация СОЖ при правке, создавая благоприятные условия резания правящим инструментом, способствует формированию необходимых условий работы ШК. В предлагаемой технологической системе в зону правки может подаваться СОЖ, активация которой выполняется в общей системе после ее очистки и охлаждения (см. рис. 3). Также, для улучшения условий обновления режущей поверхности ШК гидродинамическая кавитация может выполняться в специальном насадке непосредственно перед подачей на алмазный резец (см. рис. 8). При этом для улучшения аэродинамических условий на периферии ШК используется специальная насадка с экраном, уменьшающим влияние воздушных потоков.

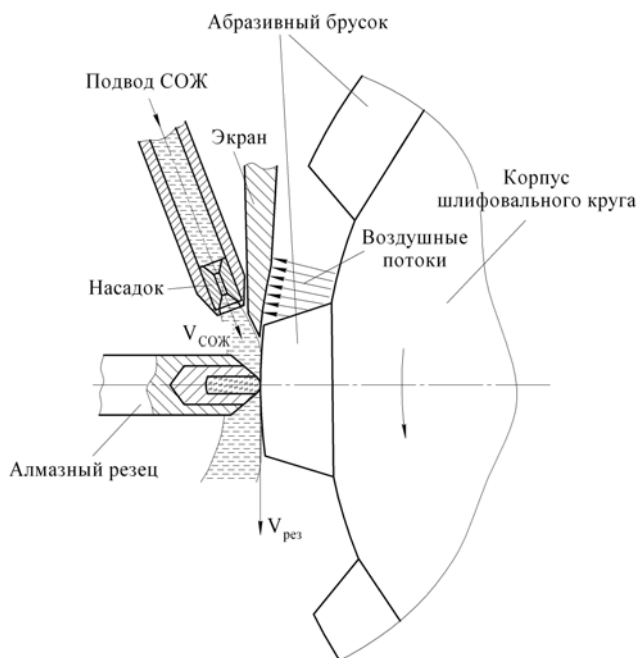


Рис. 8 – Подвод СОЖ при правке

9. Система очистки шлифовального круга. Одной из причин повышения сил резания, увеличения температур в зоне контакта, т.е. потери режущей способности шлифовальным кругом является засаливание рабочей поверхности и снижения коэффициента резания. Установлено, что основной причиной налипания частиц материала (металла) заготовки на абразивные

зерна в процессе шлифования является схватывание [17]. Существует взаимосвязь интенсивности налипания с давлением в контактных зонах и локальной температурой.

Интенсивность засаливания рабочей поверхности круга при шлифовании, наряду с другими факторами, можно снизить путем предотвращения непосредственного контакта ювенильных поверхностей абразивных зерен (АЗ) и материала заготовки путем создания на них экранирующих пленок достаточной толщины и прочности, уменьшения теплосиловой напряженности процесса за счет выбора оптимальной характеристики ШК, режимов обработки, состава и техники применения СОЖ [17].

Основной причиной потери режущей способности шлифовальных кругов при обработке заготовок из пластичных сталей и сплавов является засаливание их рабочих поверхностей вследствие налипания частиц материала заготовки на АЗ (первопричина) и заполнения пространства между зернами и пор круга отходами шлифования. В работе [17] показано, что при шлифовании заготовок из пластичных материалов для снижения локальных температур и интенсивности налипания частиц материала заготовки на АЗ следует снижать и стабилизировать коэффициент трения зерна о заготовку и износ АЗ, использовать СОЖ, обладающие высокими смазочными свойствами и АЗ из материала с большими значениями коэффициента теплопроводности и теплоемкости. Здесь же рассмотрено влияние налипов на режущую способность АЗ круга, в том числе на критическую глубину микрорезания, коэффициент навалов и силы микрорезания.

Установлено, что режущие свойства ШК существенно изменяются при варьировании техникой подачи СОЖ в зону правки [17], причем сформированный при правке рельеф рабочей поверхности круга оказывает доминирующее влияние на его режущую способность и показатели шлифования лишь на начальном этапе работы круга, с течением времени это влияние нивелируется.

Интенсивность функциональных действий СОЖ в значительной степени определяется способом и техникой их применения. В плане интенсификации смазочного и моющего действий СОЖ по отношению к ШК наиболее эффективны струйно-напорный внезонный (СНВС) и гидроаэродинамический способы подачи СОЖ, а также ультразвуковая (УЗ) очистка рабочей поверхности круга [17].

Установлено, что механическая очистка рабочей поверхности ШК позволяет увеличить его период стойкости до 70 %, уменьшить расход на 45 %, стабилизировать теплосиловую напряженность шлифования и повысить качество шлифованных деталей. Гидроочистка позволяет увеличить период стойкости ШК до 2,5 раз или на 25..35 % повысить производительность обработки. Ультразвуковую очистку ШК и подачу СОЖ к его торцу целесообразно осуществлять с использованием амплитудно-модулированных колебаний. УЗ техника подачи СОЖ к торцу ШК позволяет увеличить период

стойкости ШК до трех и более раз, или поднять на 50..60 % производительность обработки при сохранении или улучшении характеристик качества шлифованных деталей.

Считается [17], что наиболее радикальными средствами повышения режущей способности ШК за счет минимизации их засаливания представляются механическая очистка их рабочих поверхностей абразивными брусками на эластичной связке, подача СОЖ с наложением ультразвуковых колебаний и гидроочистка кругов.

Использование кавитации для интенсификации моющего действия СОЖ с целью уменьшения снимаемого при правке слоя абразива реализовано в способах правки шлифовального круга по авторским свидетельствам (а.с.) 1523320 и 1710317. Аналитически обоснована [17] и экспериментально подтверждена возможность использования гидродинамической кавитации, возникающей в радиальных отверстиях вращающегося алмазного ролика, для усиления моющего действия СОЖ. При этом оптимизированы окружная скорость ролика, длина и диаметр канала, через который подается СОЖ в зону правки, и величины зазора между роликом и кругом.

Для гидроочистки ШК предложено использовать эрозионное воздействие потока СОЖ, в которой при определенных условиях возникает гидродинамическая кавитация. При этом используются устройства, в которых кавитация возникает в радиальных отверстиях вращающегося ролика и в отверстии с сужающе-расширяющимися участками неподвижного сопла (см. рис. 9). Высокая эффективность амплитудно-модулированных колебаний при УЗ – очистке круга и подаче СОЖ к его торцу является следствием интенсификации очистки круга и пропитки его порового пространства жидкостью за счет вовлечения в процесс кавитации большого количества пузырьков [18].

Понижение уровня колебаний в зоне контакта круг – правящий инструмент, как и при шлифовании, вероятно, может быть достигнуто в том случае, когда СОЖ создаст пленки, разделяющие трущиеся поверхности зерен круга и правящего инструмента (демпфирующее действие [19]). Снижение уровня колебаний сил правки приведет к уменьшению амплитуды и частоты колебаний в технологической системе.

Как и при шлифовании, эффективность функциональных действий СОЖ во многом определяется техникой подачи их в зону правки. Изменяя условия транспортирования СОЖ в зону правки, можно усиливать те или иные функциональные действия одной и той же СОЖ. Так, например, смазочное действие СОЖ можно усилить путем использования УЗ-техники подачи СОЖ в зону правки через клиновые полуоткрытые насадки, расположенные с торцов круга [13].

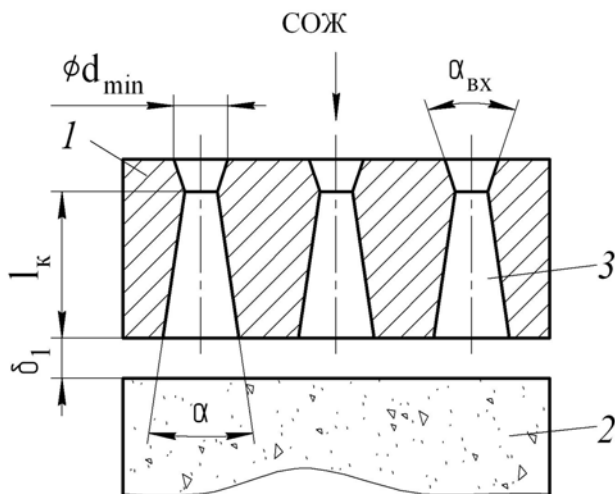


Рис. 9 – Подвод СОЖ через неподвижные сопла
1 – сопло; 2 – шлифовальный круг; 3 – отверстие

Одним из способов очистки поверхности шлифовального круга от засаливания предполагается использование кинетической энергии потока для создания механических колебаний упругих пластин. С помощью этих пластин создаются акустические колебания высокой частоты, обеспечивающие кавитационные процессы в потоке СОЖ. Используется энергия, выделяемая при схлопывании парогазовых каверн и образовании кумулятивных микроструй. Воздействие гидроударов на рабочую поверхность ШК позволяет повысить эффективность очистки поверхности ШК и способствует удалению отходов шлифования.

Таким образом, нами предложена конструкция устройства для подвода смазочно-охлаждающей жидкости (см. рис. 10), которое состоит из металлического корпуса 1, на поверхности которого закреплены элементы 2 (лепестки), изготовленные из упругого материала. Лепестки могут быть выполнены в форме, например, прямоугольников. Необходимо обеспечить максимально возможное приближение упругих лепестков к шлифовальному кругу 3. Для регулирования расстояния δ предназначена центральная гайка 4. Верхняя и нижняя гайки 4, пружины 5 и шарниры 6 с шарнирными чашками 7 предназначены для изменения угла наклона устройства подвода смазочно-охлаждающей жидкости относительно периферии круга, которое установлено в металлическом корпусе 8 через втулки 9 и 10.

При вращении шлифовального круга 3 создаются гидроаэродинамические потоки, которые оказывают силовое воздействие на упругие лепестки за счет кинетической энергии движущейся воздушно-эмульсионной смеси. При вращении шлифовального круга в полости между

ним и устройством подвода СОЖ возрастает кинетическая энергия потока. В момент гидроудара жидкости об упругие лепестки последние отклоняются от положения равновесия, вследствие чего основная часть кинетической энергии жидкости переходит в потенциальную энергию упругого деформирования лепестков, которые затем отбрасывают жидкость, перенаправляя ее на поверхность шлифовального круга. Таким образом, СОЖ преодолевает сопротивление воздушного потока, попадает на периферию круга и в зону резания, обеспечивая смазочные, охлаждающие, чистящие и другие действия. При колебаниях лепестков в потоке жидкости возникает гидроакустическая кавитация, что способствует интенсификации ее перемешивания, активации протекания физико-химических процессов, а также вырыванию стружки с поверхности шлифовального круга.

Регулирование расстояния δ между металлическими лепестками и шлифовальным кругом, вследствие его износа, можно выполнять либо автоматически по командам системы управления станком через специальный механизм (на рисунке не показан).

Такой способ очистки ШК позволяет существенно повысить производительность обработки и стойкость инструмента.

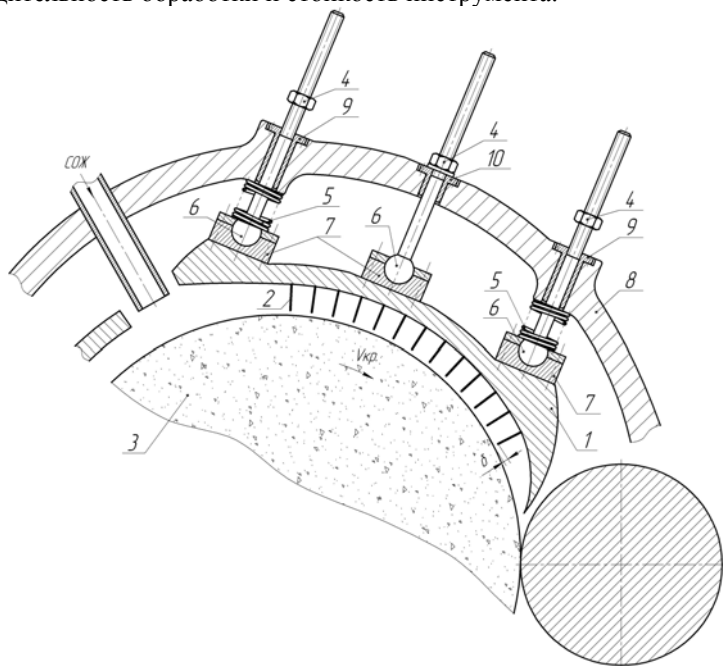


Рис. 10 – Устройство для подвода смазочно-охлаждающей жидкости

10. Охлаждение поверхности детали вне зоны резания. В процессе круглого наружного шлифования до 80 % тепла уходит в заготовку,

остальное уходит на шлифовальный круг и снимаемую стружку. При эффективном использовании СОЖ жидкость отводит до 10 % тепла за счет охлаждающего действия. При этом количество теплоты, образовавшееся в зоне резания за счет смазывающего действия СОЖ, может снизиться приблизительно на 30 %. Несмотря на это значительное количество тепла уходит в тело заготовки, постепенно нагревая ее. Чем меньше размеры заготовки и выше ее требуемая точность, тем больше на нее сказываются температурные изменения.

Одним из вариантов дополнительного охлаждения заготовки является подвод СОЖ на выходе поверхности из зоны резания. В этом случае также используются специальные насадки. Поскольку кавитация способствует более интенсивному проникновению СОЖ в микрощели заготовки, целесообразно применить подвод СОЖ с ее кавитацией на поверхности обрабатываемого материала. Кроме того, поверхность заготовки при следующем цикле врезания будет подготовлена к процессу резания, т.к. пройдет достаточно времени для протекания физико-химических реакций с образованием смазочных пленок, а СОЖ за счет микрокапиллярного эффекта заполнит все микрощели. Однако эффективность данного способа охлаждения требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

11. Модуль подвода и активации СОЖ круглошлифовального станка. Из сказанного выше следует, что для повышения производительности и качества шлифования, наряду с другими методами, необходимо осуществлять комплексный подход к использованию СОЖ, включающий в себя выбор рационального состава, обеспечение ее эффективного использования при шлифовании и правке. Такие технологические схемы обработки должны обеспечивать снижение силовых нагрузок и теплонапряженности процесса.

Выполнение поставленной задачи осуществляется при помощи модуля (см. рис. 11), включающего в себя корпус, устанавливаемый на шлифовальной бабке станка, сборный шлифовальный круг, установленный на шпинделе, две отдельные системы подвода СОЖ под абразивные бруски и в промежуток между ними, а также систему с упругими элементами для очистки ШК. Такой модуль может быть установлен на различных круглошлифовальных (и не только) станках и использован для обработки любых материалов и сплавов.

Сборный шлифовальный круг (см. рис. 12) состоит из диска (кассеты) 1 с каналами 2 и 3 для подвода СОЖ, установленного на шпинделе станка 4 и закрепленного на нем посредством болта 5. На периферии диска с помощью прижимных элементов 6 закреплены абразивные сегменты 7. Прижимные элементы 6 содержат отверстия 3 закрепленными в них кавитаторами 8. Под абразивными сегментами в каналах 3 установлены кавитаторы 9. Прижимные элементы 6 крепятся с помощью левой 10 и правой 11 крышек шлифовального круга. Для балансировки шлифовального круга в собранном виде предусмотрены грузики 12.

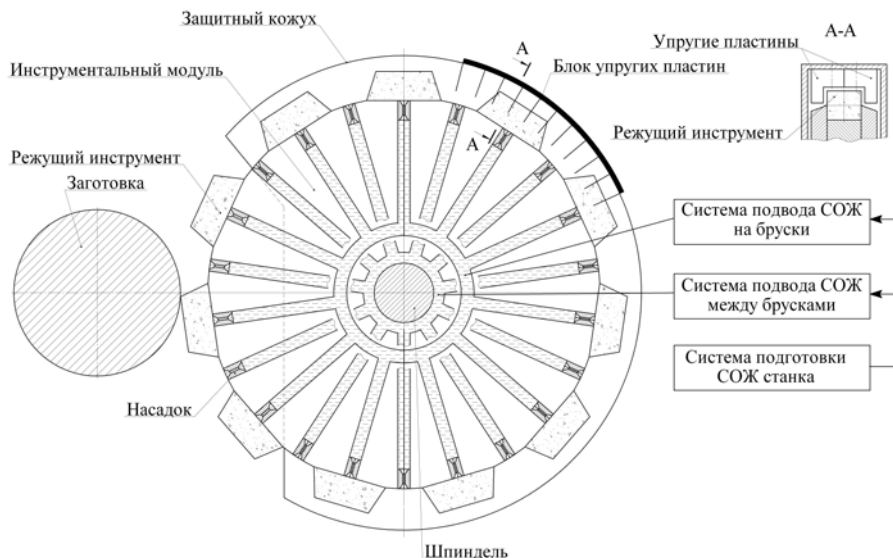


Рис. 11 – Модуль охлаждения и активации СОЖ

Сборный круг размещен в корпусе и закрыт левой 13 и правой 14 крышками защитного кожуха, который неподвижно прикреплен винтами 15 к фланцу 16 шлифовальной бабки. Использование сменной посадочной втулки позволяет устанавливать корпус на станках, имеющих посадочные элементы аналогичной конструкции.

На внутренней части защитного кожуха закреплены упругие лепестки 17 посредством кольца 18 и винтов 19 и 20. К левой крышке защитного кожуха через стакан 21 с помощью болтов 22 и 23 прикреплены втулки ввода СОЖ 24 и 25. Изоляция каналов подвода СОЖ выполняется с помощью манжет, установленных в стаканах 21 и 27 соответственно.

Подвод СОЖ в зону резания осуществляется через две разделенные системы каналов, одна из которых обеспечивает подачу СОЖ к абразивным сегментам, а вторая – между ними.

Между абразивными брусками СОЖ подается через втулку 25. Втулка с крыльчаткой 26 обеспечивает предварительный разгон эмульсии. Далее СОЖ попадает в канал 2 диска 1, где дополнительно разгоняется за счет кинетической энергии при вращении шлифовального круга и направляется к его периферии между абразивными сегментами 7. При этом на выходе с каналов установлены насадки 8, которые за счет эффекта кавитации обеспечивают ее мелкодисперсное перемешивание, интенсификацию химико-физических процессов, происходящих в СОЖ и зоне резания.

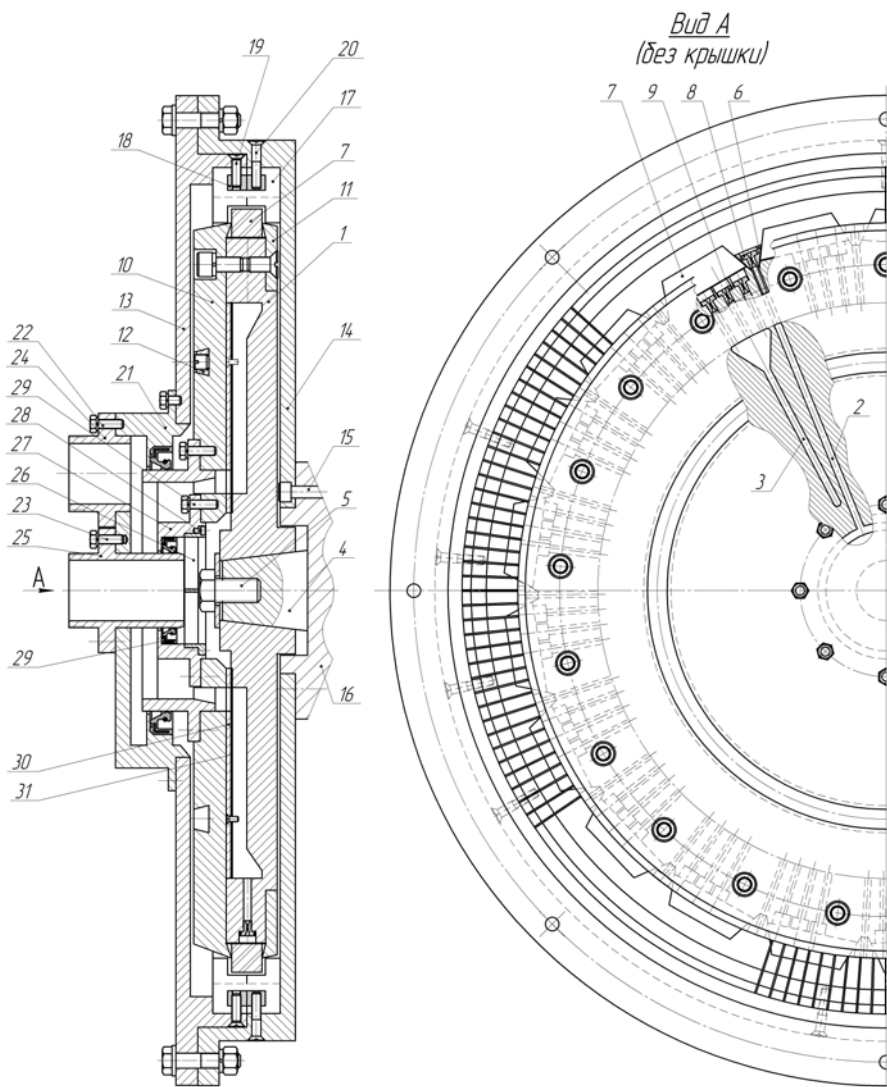


Рис. 12 – Модуль сборного шлифовального круга

Проходя участок кавитации СОЖ попадает в пространство между сегментами перед ее контактом с заготовкой.

Под абразивный сегмент подача СОЖ выполняется следующим образом. Через втулку ввода 24 жидкость попадает во втулку 27. Далее через отверстия в крышке 30 и прокладке 31 поступает в канал 3 диска 1, где дополнительно разгоняется за счет кинетической энергии при вращении шлифовального круга и направляется к его периферии под абразивный

сегмент 7. При этом на выходе с каналов установлены насадки 9, которые за счет эффекта кавитации обеспечивают мелкодисперсное перемешивание СОЖ, интенсификацию химико-физических процессов, происходящих в зоне резания. На рабочую поверхность сегмента СОЖ попадает через поры в абразивном материале.

В корпусе по периферии шлифовального круга в крышках 13 и 14 установлены упругие элементы 17, которые под воздействием потока СОЖ совершают механические колебания, создающие эффект акустической кавитации СОЖ, создавая условия для очистки рабочей поверхности сегментов.

На рисунках 13-15 показаны 3D-модели общего вида модуля сборного шлифовального круга, кавитаторов, установленных в нем и упругих лепестков, закрепленных в защитном кожухе устройства.

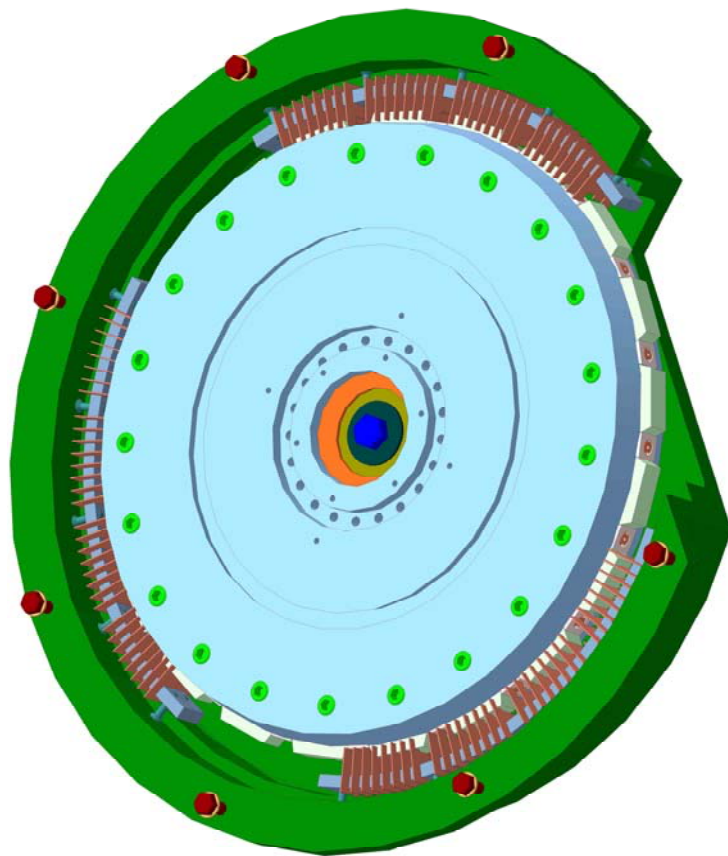


Рис. 13 – 3D-модель модуля сборного шлифовального круга

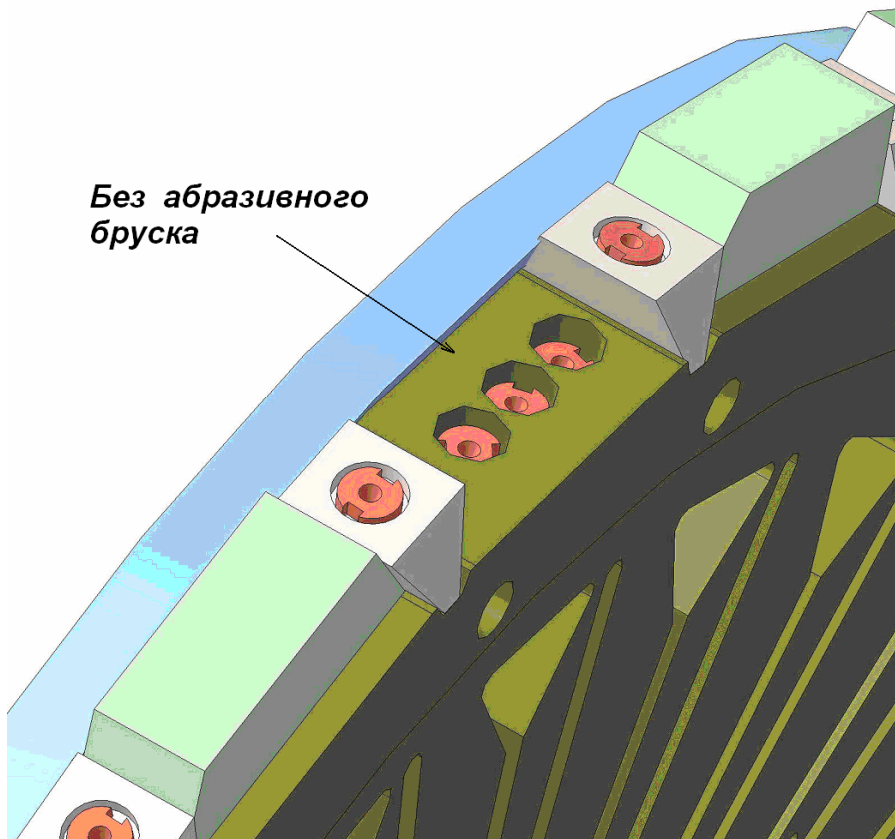


Рис. 14 – Кавитаторы, установленные в модуле

Используемая в модуле комбинированная система подвода СОЖ позволяет обеспечить гарантированное попадание ее на рабочую поверхность абразивных сегментов. При этом обеспечивается процесс мелкодисперсного перемешивания СОЖ, интенсифицируются химико-физические процессы, происходящие в СОЖ и зоне резания, активно очищается поверхность абразивного сегмента от засаливания, повышаются охлаждающее, смазывающее, смачивающее и другие воздействия, что в целом приводит к повышению производительности, качества обработки и стойкости режущего инструмента.

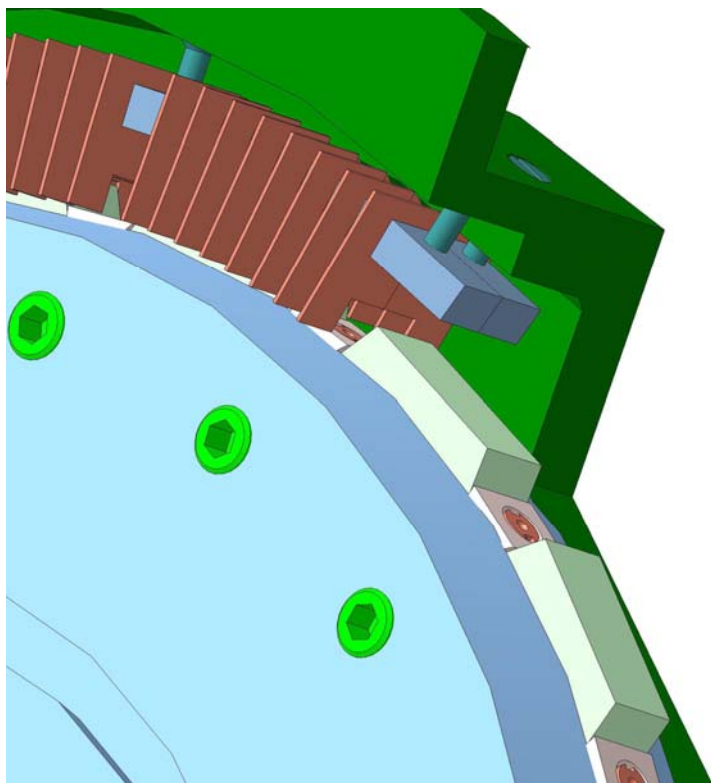


Рис. 15 – Упругие лепестки кожуха модуля

Кроме того, круги такой конструкции позволяют при необходимости регулировать расход СОЖ через каналы, отключать их, подключать по отдельности, подключать оба не останавливая процесс обработки. В каналы также можно подавать два различных вида СОЖ, один из которых обладает, например, преимущественно охлаждающими, а второй – смазывающими свойствами.

Насосы, установленные в каждом из каналов, позволяют дополнительно использовать регулировку потока СОЖ по расходу и давлению.

Применение данного сборного шлифовального круга изменяет представление о режущем инструменте, т.к. основная конструкция может быть отнесена к категории вспомогательного инструмента (кассета). Режущими инструментами являются только сменные абразивные бруски. Замена брусков позволяет значительно экономить абразивный материал и обеспечивает возможность применять бруски из любого необходимого для данной обработки материала.

Универсальность предлагаемой конструкции заключается в том, что сменные втулки на шпинделе и корпусе позволяют устанавливать этот модуль на ряде однотипных шлифовальных станков.

Данная конструкция позволяет значительно улучшить динамические показатели работы станка. Кассета до установки абразивных брусков подвергается тщательной статической и динамической балансировке. После установки брусков выполняется дополнительная балансировка с помощью грузов, установленных в круговой канавке. Из-за малого объема и веса абразивных брусков колебания, вызванные неравномерностью абразивного материала, разной его плотностью и износом, незначительны.

В производственных условиях используются две (или больше) кассеты. Пока один сборный круг находится на станке, оператор перезаряжает вторую кассету.

Устройство кассеты позволяет регулировать подачу СОЖ в зону резания и в промежуток между брусками, что может быть использовано при рационализации подачи СОЖ в цикле (изменением давлений и объемов), а также гибко использовать в автоматизированных и адаптивных системах, например, при отслеживании изменения коэффициента резания.

Кавитация СОЖ перед подачей в зону резания через брусок способствует ее более свободному проходу через поры абразивного инструмента, а разгон жидкости в радиальных каналах кассеты практически исключает ее вытирание на торцах.

В большинстве случаев при вращении круга кинетической энергии достаточно для создания кавитации в специальных насадках на выходе радиальных каналов, однако, при необходимости, дополнительное давление и увеличение объемов подаваемой жидкости может быть обеспечено насосами модуля.

Установленные в кожухе упругие элементы используют энергию периферийного потока СОЖ и предназначены для получения колебаний с целью создания акустической кавитации, способствующей очистке рабочей поверхности шлифовальных брусков от налипания металла, засаливания и вымывания отходов.

Выводы. На основе анализа процессов, происходящих при шлифовании, предложен комплексный подход повышения эффективности СОЖ за счет ее кавитационной обработки на стадии подготовки в системе станка, применения гидродинамической кавитации СОЖ при резании, правке и очистке шлифовального круга. В результате чего обеспечивается стабилизация режущей способности шлифовальных кругов и минимизация засаливания их рабочих поверхностей. Использование комплексного подхода к подготовке и использованию СОЖ при шлифовании позволяет увеличить производительность обработки, повысить качество шлифованных деталей, сократить расход абразивных материалов и правящих инструментов, и, следовательно, снизить себестоимость процесса шлифования.

Список литературы. 1. Худобин Л.В. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Бульжеев и др. / Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с. **2.** Промтов. М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ. – 2008. – Том 14. – № 4. – С. 861-869. **3.** Кнэпп Р и др. Кавитация / Перевод с англ. д-ра техн. наук Э.А. Ашратова; под ред. д-ра физ.-мат. наук В.И. Полежаева. – М.: Мир, 1974. – 668 с. **4.** Долинский А.А. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах: теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии / А.А. Долинский, Г.К. Иваницкий. – К.: Наук. думка, 2008. – 381 с. **5.** Фесенко А.В. Сравнительный анализ гидродинамических установок для диспергирования, гомогенизации и нагрева жидкости / А.В. Фесенко, Ю.Н. Любимый // Вісник Сумського державного університету. Серія: технічні науки. – Суми: Видавництво СумДУ. – 2009. – № 4. – С. 103–109. **6.** Киселев Е.С. Интенсификация процессов механической обработки использованием энергии ультразвукового поля: Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 186 с. **7.** Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с. **8.** Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с. **9.** Якимов А.В. Прерывистое шлифование. – Киев; Одесса: Вища шк., 1986. – 174 с. **10.** Сизый Ю.А. Влияние давления подачи СОЖ на нагрев заготовок при врезном шлифовании / Ю.А. Сизый, М.С. Степанов // Вісник національного технічного університету «ХПІ» – Х.: НТУ «ХПІ». – 2005. – С. 210-214. **11.** Bin Shen, Ajay P. Malshe, Parash Kalita, Albert J. Shih. Performance of novel MoS₂ nanoparticles based grinding fluids in minimum quantity lubrication grinding. – Volume 36. – 2008. – 357-364 pp. **12.** Блурицян Д.Р. Уменьшение расхода СОЖ при шлифовании. МИ ВлГУ, г. Муром, 2002. **13.** Киселев Е.С. Эффективность ультразвуковых устройств для подачи СОЖ при шлифовании заготовок и правке абразивных кругов / Е.С. Киселев, А.Н. Унянин // СТІН. – 1995. – № 2. – С. 24–28. **14.** Яцерицын П.И., Караим И.П. Шлифование с подачей СОЖ через поры круга / П.И. Яцерицын, И.П. Караим. – Минск: Наука и техника, 1974. – 255 с. **15.** Филимонов Л.Н. Стойкость шлифовальных кругов. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1973. – 136 с. **16.** Дубовик Н.П. Исследование работоспособности и создание роликов из синтетических материалов для правки шлифовальных кругов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Одесса: Одесский политех. институт, 1974. – 24 с. **17.** Худобин Л.В. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / Л.В. Худобин, А.Н. Унянин; под ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с. **18.** Унянин А.Н. Научное и технологическое обеспечение шлифования заготовок из пластичных сталей и сплавов с предотвращением засаливания абразивных кругов : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Унянин А.Н. ; Ульян. гос. техн. ун-т ; науч. консультант Худобин Л.В. – Ульяновск : УлГТУ, 2006. – 32 с. **19.** Худобин И.Л. О демпфирующем действии СОЖ при шлифовании // Вестник машиностроения. – 1981. – № 5. – С. 55–57.

Поступила в редколлегию 04.09.2010